

УДК 681.236

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРЯДНОІМПУЛЬСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВИЛИВКІВ

Н.С.Назарова, канд.техн.наук, **В.В.Діордійчук**,
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України,
пр. Жовтневий, 43-а, Миколаїв, 54018, Україна.

Розроблено модель оцінки енергоефективності розрядноімпульсної технології очищення виливків, яка дозволяє математично строго обчислити математичне сподівання функції втрат при неперервній роботі установок. Розраховано підвищення енергоефективності технології за рахунок адаптивного керування режимом обробки з урахуванням питомого опору води в технологічній ємності. Бібл. 9, табл. 3, рис. 2.

Ключові слова: розрядноімпульсні технології, оптимальна система автоматичного керування, адаптивна система.

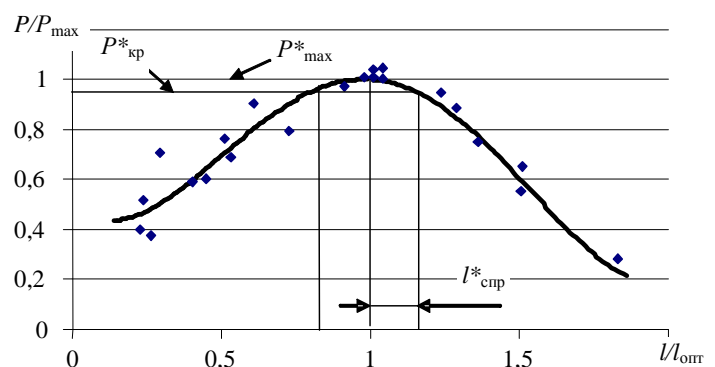
Підвищення ефективності роботи електрообладнання розрядноімпульсних установок при забезпеченні заданих технологічних режимів є актуальною проблемою для розрядноімпульсної технології (РІТ) очищення виливків. Подальше підвищення енергоефективності технології при застосуванні традиційних формувальних сумішей і генераторів імпульсних струмів [2] може бути досягнуто використанням оптимальних систем керування [1]. Дослідження, проведені у [3, 5, 9], показали, що подальший розвиток цих систем полягає у розробці механізмів адаптації системи до змінюваних параметрів вектору стану об'єкта керування. Недоліком розроблених механізмів є відсутність формалізованих моделей керування для адаптивної системи і математичних засобів для оцінки енергоефективності технології при використанні таких систем.

Аналіз моделей керування розрядноімпульсним перетворенням енергії. Ступінь очищення виливків при використанні РІТ визначається інтегральним впливом різних факторів, таких як тиск у каналі розряду, акустичні опори матеріалів, різниця власних частот коливань матеріалів виливка, формувальної суміші і води в технологічній ємності, швидкість гідропотоків та інших. Ці фактори кореляційно залежні між собою. Одним зі значимих факторів є тиск у хвилі стиску.

Системи автоматичного керування (САК) режимом обробки РІТ очищення виливків з іскровим розрядом належать до оптимальних [2] з мінімізацією функції втрат енергії Π , яка визначається математичним сподіванням

$$M(\Pi) = M(N_0/N) = \min, \quad (1)$$

і досягається при підтримці режимів обробки з $P > P_{кр}$ (рис. 1), де P – тиск на фронті хвилі стиску, $P_{кр}$ – найменший тиск, при якому починається руйнування формувальних сумішей, Π_0 – втрати енергії при одному розряді, N_0 – кількість розрядів з $P < P_{кр}$, N – загальна кількість розрядів. Залежність амплітуди тиску від довжини міжелектродного проміжку l має максимум (рис. 1) [6]. Таким чином, при відхиленні від заданого режиму оптимальна САК повинна максимально швидко повертати систему до початкового положення, тобто бути оптимальною за швидкодією. Для реалізації принципу максимуму в системі обрано релейне керування.



У результаті синтезу оптимальної системи керування в [7] отримано математичну модель

$$dl/dt = V_z \cos \alpha - V_d \sin \alpha, \quad m_z(dV_z/dt) = g_z - k_z V_z, \quad g_z = \psi(l_{\text{спр}}) \cdot F_{\text{прз}}, \quad (2)$$

де V_z , V_d – проекції швидкості руху електрода відповідно на вертикальну вісь і горизонтальну площину, α – кут нахилу траєкторії руху електрода до горизонтальної площини, g_z – проекція керуючого впливу на вертикальну вісь, $F_{\text{прз}}$ – зусилля, що створюється вертикальним приводом, $\psi(l_{\text{спр}})$ – релейна функція, $l_{\text{спр}}$ обмежує зону нечутливості трипозиційного регулятора.

Забезпечення оптимального режиму обробки деталей здійснюється автоматичним підтриманням міжелектродного проміжку в зоні $l_{\text{опт}} - l_{\text{спр}} \leq l \leq l_{\text{опт}} + l_{\text{спр}}$.

$$l_{\text{спр}} = k_l \delta, \quad (3)$$

де $\delta_{\text{min}} = 3\sigma_\Sigma \leq \delta \leq 0,3(l_{\text{опт}}/k_l)$, δ – величина, пропорційна $l_{\text{спр}}$, σ_Σ – стандартне відхилення інформаційної координати $\Sigma[n](l)$, $\delta_{\text{min}} \geq 3\sigma_\Sigma$ – мінімальне значення δ , яке не призводить до помилкових спрацьовувань, $3\sigma_\Sigma$ – інтервал, у який потрапляє не менше 99,5 % значень випадкової величини, k_l – коефіцієнт пропорційності лінії регресії.

Визначення l здійснюється за лінією регресії математичного сподівання інформаційної координати $\Sigma[n](l)$ з урахуванням її стандартного відхилення σ_Σ .

Обмеження цієї моделі полягає у тому, що в ній використовується найбільше можливе стандартне відхилення інформаційної координати, що, з одного боку, виключає перерегулювання в автоматичній системі (підтверджено практикою), але, з іншого боку, призводить до збільшення функції втрат при неперервній роботі установки. Необхідно побудувати модель, що враховує зміни стандартного відхилення інформаційної координати в залежності від положення об'єкта керування в просторі станів, тобто адаптивну, розробити формалізовані моделі керування для адаптивної системи і математичні засоби для оцінки енергоефективності технології при використанні таких систем.

Мета роботи: розробити модель оцінки енергоефективності розрядноімпульсної технології очищення виливків, побудувати модель адаптивного керування і визначити його ефективність, на базі чого запропонувати методи підвищення енергоефективності даної технології.

Оцінка енергоефективності технології очищення виливків в умовах невизначеності. У представленій моделі керування визначено тільки границі δ , але не існує моделей, що однозначно зв'язують цю величину з ефективністю керування. Однак, як випливає з рис. 1, якщо збільшувати $l_{\text{спр}}$, що обмежує зону нечутливості трипозиційного регулятора, то частина розрядів буде відбуватися поза цією зоною і їхня енергія буде поповнювати втрати енергії і збільшувати функцію втрат. Таким чином, енергоефективність технології залежить від ширини зони нечутливості трипозиційного регулятора. З іншого боку, якщо зменшення цієї зони не обмежити значенням $\delta_{\text{min}} = 3\sigma_\Sigma$, при роботі приводу виникнуть режими перерегулювання, викликані помилковими спрацьовуваннями. Цих режимів треба уникати навіть за рахунок збільшення функції втрат. Тому потрібно побудувати модель для оцінки енергоефективності технології очищення виливків в умовах невизначеності.

Для цього побудуємо залежність функції втрат (1) від межі зони нечутливості трипозиційного регулятора $l^*_{\text{спр}}$ ($l^*_{\text{спр}} = l_{\text{спр}}/l_{\text{опт}}$). Для реалізації системи керування достатня кусково-лінійна апроксимація, але для математичних перетворень зручніше використовувати гладку функцію. Тому апроксимуємо емпіричну залежність (див.рис. 1) поліномом четвертого степеня, крива якого дотична до точок з $l = l_{\text{опт}}$,

$$P/P_{\text{max}} = (l/l_{\text{опт}})^4 - 4,08(l/l_{\text{опт}})^3 + 4,59(l/l_{\text{опт}})^2 - 1,01(l/l_{\text{опт}}) + 0,5. \quad (4)$$

Використовуючи позначення $l^* = l/l_{\text{опт}}$, $P^* = P/P_{\text{max}}$, $P^*_{\text{кр}} = P_{\text{кр}}/P_{\text{max}}$, $P^*_{\text{max}} = P_{\text{max}}/P_{\text{max}}$, у результаті перетворення координат отримано залежність

$$P^*_{\text{max}} - P^*_{\text{кр}} = -(l^*_{\text{спр}})^4 + 0,08(l^*_{\text{спр}})^3 + 1,65(l^*_{\text{спр}})^2 + 0,07(l^*_{\text{спр}}), \quad (5)$$

де $l^*_{\text{спр}}$ задається як у від'ємному, так і в додатному напрямках відносно $l_{\text{опт}}$.

Інформаційна координата є випадковою величиною з нормальним законом розподілу, тому функцію втрат Π також можна визначити за інтегралом

$$\Pi(N_0/N) = 1 - \int_{l^*_{\text{опт}} - l^*_{\text{спр}}}^{l^*_{\text{опт}} + l^*_{\text{спр}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi k_l \sigma_\Sigma^*}} \exp\left(-\frac{l^{*2}}{2(k_l \sigma_\Sigma^*)^2}\right) dl^*, \quad (6)$$

де $\sigma^*_\Sigma = \sigma_\Sigma / l_{\text{опт}}$, $l^*_{\text{опт}} = l_{\text{опт}} / l_{\text{опт}} = 1$.

Ця формула дає змогу визначити втрати в залежності від $l^*_{\text{ср}}$ та $k_l \sigma_\Sigma$, а енергоефективність – за формулою

$$E_f = 1 - P(N_0 / N). \quad (7)$$

Для забезпечення максимальної енергоефективності система повинна регулювати величину $l_{\text{ср}} = k_l \delta$ в залежності від стану об'єкта керування для мінімізації функції втрат (1). Раніше таке налаштування виконували експериментально для жорстко заданих технологічних параметрів. В інтелектуальній РІТ ця задача повинна виконуватися системою автоматичного керування.

Модель керування режимом розряду для технології очищення виливків з урахуванням параметрів середовища в технологічній ємності. Дослідимо поведінку δ в залежності від стану процесу у факторному просторі. Для цього проаналізуємо вплив координати $\rho(nt)$ (питомий опір рідини у поточний дискретний час) на зміну вихідної координати $\Sigma[n]$ ($\Sigma[n]$ – математичне сподівання інформаційної координати, визначене на виборці об'ємом n) при заданому значенні $l_{\text{опт}}$. Вибір за інформаційну координату Σ зумовлено її найбільшою інформативністю [8]. По координаті $\rho(nt)$ також надходить збурювання $\Delta\rho$ за рахунок зменшення питомого опору рідини в результаті забруднення залишками формуючих сумішей, поглинання газів, підвищення температури тощо. Інформацію про збурювання можна вводити в систему керування, наприклад, за допомогою системи вимірювання питомого опору робочої рідини в електророзрядних установках [4]. Швидкість зміни ρ визначається сполукою формуючих сумішей, інтенсивністю режимів обробки, і вона значно менша швидкості змін величини розрядного проміжку $l(t)$, тому $\Delta\rho$ можна вважати параметричним збурюванням. При відсутності систем регенерації рідини, у якій відбувається розряд, нехтувати змінами питомого опору не можна, тому необхідно досліджувати вплив координати $\rho(nt)$ на оператор об'єкта керування, тобто на значення коефіцієнтів моделі керування k_l , і статистичні характеристики інформаційних координат.

При зміні σ_Σ змінюється точність визначення інформаційної координати, що потрібно враховувати в системі і що технічно реалізується вибором достовірного інтервалу δ для завдання зони нечутливості трипозиційного релейного регулятора. При неправильному завданні інтервалу нечутливості знижується точність системи автоматичного керування і енергоефективність установки.

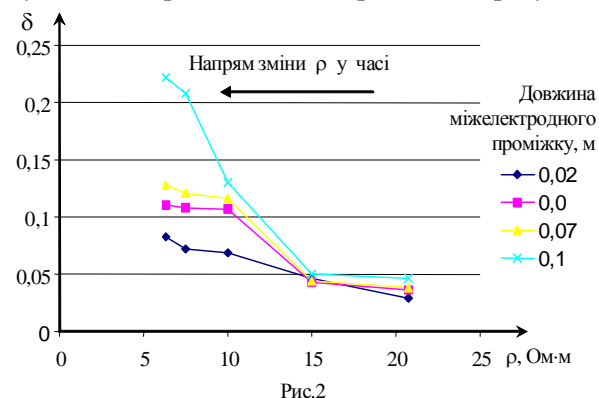


Рис.2

Залежність інтервалу нечутливості регулятора від різних значень довжини оптимального міжелектродного проміжку l показано на рис. 2 за експериментальними даними (табл. 1, 2) [8]. У табл. 1. наведено математичне сподівання координати $\Sigma[n]$, у табл. 2. – середньоквадратичне відхилення σ_Σ .

Відповідно до рис. 2 точність оцінки стану системи за $\Sigma[n]$ суттєво зменшується за рахунок збільшення дисперсії даної величини при зменшенні питомого опору рідини і, як наслідок, знижується

точність і надійність регулювання при певному граничному значенні питомого опору рідини.

Побудуємо відповідну математичну модель керування. Значення k_l і δ залежать від положення об'єкта керування в просторі станів. Для визначення k_l і δ проаналізуємо результати факторного експерименту (табл. 1, 2).

В попередніх моделях [7] на базі емпіричних даних отримано векторний оператор \mathbf{A} , що пов'язує інформаційну координату $\Sigma[n]$ з координатою вхідного вектора l , яка є каналом регулюючого впливу

$$S_1 = \mathbf{A} \mathbf{L}_1, \quad (8)$$

Таблиця 1

$l, \text{ м}$	$\rho, \text{ Ом м}$				
	6,0	7,5	10,0	15,0	20,0
0,025	0,56	0,57	0,58	0,60	0,64
0,050	0,40	0,42	0,44	0,56	0,60
0,075	0,26	0,28	0,28	0,49	0,53
0,100	0,13	0,16	0,18	0,40	0,42

Таблиця 2

$l, \text{ м}$	$\rho, \text{ Ом м}$				
	6,0	7,5	10,0	15,0	20,0
0,025	0,0277	0,0241	0,0229	0,0154	0,0097
0,050	0,0369	0,0361	0,0356	0,0143	0,0122
0,075	0,0425	0,0403	0,0387	0,0147	0,0127
0,100	0,0741	0,0695	0,0435	0,0166	0,0157

де S_1 – вектор-стовпець математичних сподівань інформаційної координати, L_1 – вектор-стовпець значень координати вхідного вектора, A – діагональна матриця коефіцієнтів для заданого значення ρ .

Для врахування впливу вхідної координати $\rho(nt)$ на інформаційну координату $\Sigma[n]$ у кожній точці двовимірного факторного простору побудовано $m \times n$ лінійних рівнянь залежності $\Sigma[n]=f(l(nt), \rho(nt))$ за емпіричними даними, наведеними у табл. 1.

Геометрично вони є рівняннями площин, дотичних до поверхні $\Sigma[n]=f(l(nt), \rho(nt))$ у точках, визначених факторним експериментом. Сукупність цих рівнянь можна коротко записати у вигляді матричного рівняння

$$\Sigma_2 = L_2 \cdot K + R \cdot R_0 + B, \quad (9)$$

де Σ_2 – прямокутна матриця математичних сподівань інформаційної координати розміром $m \times n$; m – кількість рівнів фактору l ; n – кількість рівнів фактору ρ ; L_2 – m -мірна діагональна матриця рівнів фактору l ; R_0 – n -вимірний вектор рівнів фактору ρ ; K , R і B – прямокутні матриці коефіцієнтів пропорційності двофакторної регресії розміром $m \times n$. Наприклад, рівняння для точки факторного простору з факторами $l_2=0,05$ м, $\rho_3=10$ Ом·м має вигляд $\Sigma_{2,3}=k_{2,3} \cdot l + r_{2,3} \cdot \rho + b_{2,3}$, де $k_{2,3}=-5,2$, $r_{2,3}=0,009$, $b_{2,3}=0,62$.

Побудована модель може бути використана для керування режимом розряду шляхом підтримки оптимального розрядного проміжку і заданого питомого опору води в технологічній ємності відповідно до (9). Але ця модель також обмежена дискретним характером емпіричних даних, тому що коефіцієнти матриць A , K , R і B визначено шляхом лінеаризації залежності (див. табл. 1) і використання їх в системі керування обмежено заданими точками.

Релейна функція керування для забезпечення мінімізації функції втрат (1) з урахуванням (9) набуде вигляду

$$\Psi(\Sigma[n], \sigma_\Sigma) = \begin{cases} 1, & \text{при } \Sigma[n] < \Sigma_{\text{опт}}(l_{\text{опт}}, \rho) - \delta(l_{\text{опт}}, \rho); \\ 0, & \text{при } \Sigma_{\text{опт}}(l_{\text{опт}}, \rho) - \delta(l_{\text{опт}}, \rho) \leq \Sigma[n] \leq \Sigma_{\text{опт}}(l_{\text{опт}}, \rho) + \delta(l_{\text{опт}}, \rho); \\ -1, & \text{при } \Sigma[n] > \Sigma_{\text{опт}}(l_{\text{опт}}, \rho) + \delta(l_{\text{опт}}, \rho), \end{cases} \quad (10)$$

де δ визначається із виразу $\delta_{\text{мін}}=3\sigma_\Sigma \leq \delta$. Межа зони нечутливості релейного регулятора обирається із залежності $l_{\text{ср}}=k_l \delta$.

Аналіз енергоефективності розрядноімпульсної технології очищення виливків при адаптивному керуванні режимом обробки з урахуванням питомого опору в технологічній ємності.

Проведемо розрахунок функції втрат для випадку $l_0=0,1$ м та різних заданих величин $P_{\text{кр}}$ (які визначаються видом формувальних сумішей). Для виключення перерегулювання в автоматичній системі регулювання без врахування поточного питомого опору ρ необхідно встановити зону нечутливості регулятора відповідно до найбільшого значення стандартного відхилення інформаційної координати в області проведення технологічної обробки, при якій питомий опір ρ зменшується від 10,0 до 6,3 Ом·м. Згідно з табл. 2 найбільше значення $\sigma_{\Sigma \text{max}}=0,074$ відповідає режиму $\rho=6,3$ Ом·м. Результати розрахунків ефективності і втрат для цього випадку показано у рядках 3, 4 табл. 3. При врахуванні поточного питомого опору ρ система переключує зону нечутливості регулятора відповідно до поточного значення стандартного відхилення. Наприклад, для $\rho=10,0$ Ом·м (згідно з табл. 2) σ_Σ дорівнює 0,0435, що дозволяє звужити область нечутливості і при цьому втрати при заданих $P_{\text{кр}}^*$ суттєво зменшаться (див. рядки 4, 6 табл. 3).

Таблиця 3

№	Розрахункова величина	Формула для розрахунку	Значення				
			0,91	0,95	0,96	0,97	0,98
1	$P_{\text{кр}}^*$	Задано	0,91	0,95	0,96	0,97	0,98
2	$\max l_{\text{ср}}^*$	(5)	0,27	0,20	0,18	0,15	0,14
3	Еф для $\sigma_{\Sigma \text{max}}$	(6)	0,94	0,86	0,76	0,73	0,68
4	Втрати П для $\sigma_{\Sigma \text{max}}$	(7)	0,06	0,14	0,24	0,27	0,32
5	Еф для σ_Σ при $\rho=10,0$ Ом·м	(6)	1,00	0,99	0,97	0,92	0,90
6	Втрати П для σ_Σ при $\rho=10,0$ Ом·м	(7)	0	0,01	0,03	0,08	0,10

Висновки. Розроблена модель оцінки енергоефективності розрядноімпульсної технології очищення виливків дозволяє математично строго обчислити математичне сподівання функції втрат при неперервній роботі установки, обґрунтувати залежність втрат від вибраної зони нечутливості трипозиційного регулятора.

На базі розробленої моделі можна рекомендувати наступні методи підвищення енергоефективності розрядноімпульсної технології очищення виливків:

– використання інформаційної координати режиму обробки з найменшим стандартним відхиленням;

– використання адаптивної системи керування для реалізації зменшення зони нечутливості при зменшенні стандартного відхилення інформаційної координати з метою зниження функції втрат або збільшення зони нечутливості при збільшенні стандартного відхилення інформаційної координати для виключення перерегулювання у системі.

1. *Вовк И.Т., Друмирецький В.Б., Кривицкий Е.В., Овчинникова Л.Е.* Управление электрогидроимпульсными процессами. – Киев: Наукова думка, 1984. – 186 с.

2. *Гульи Г.А.* Основы разрядноимпульсных технологий. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.

3. *Декл. пат.* на кор. мод. 17153 Україна, МПК (2006) G 05 D 13/02. Спосіб автоматичного регулювання ЕГУ / С.С.Козирев; Н.С.Назарова; заявник і патентовласник – ШПТ НАН України. – №u200602947. – Заявл. 20.03.2006. – Опубл. 15.09.2006. – Бюл. №9. – 4 с.

4. *Диордийчук В.В., Винниченко Д.В., Богуславський Л.З., Назарова Н.С.* Автоматизована система вимірювання питомого опору робочої рідини в електророзрядних установках // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика". – 2008. – №8(140). – С. 61–68.

5. *Козырев С.С.* Адаптивная система управления электроимпульсной установкой с использованием нечеткого регулятора // Вестник Национального технического университета "ХПИ". Тематический выпуск «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2006. – №37. – С. 92–100.

6. *Кривицкий Е.В., Шамко В.В.* Переходные процессы при электрическом разряде в жидкости. – Киев: Наук.думка, 1979. – 208 с.

7. *Назарова Н.С.* Система автоматичного регулювання електрогідроімпульсних установок із рухомим електродом / Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Київ: ІЕД НАН України, 2003. – 20 с.

8. *Назарова Н.С.* Анализ статистической эффективности координат выходного вектора объекта управления // Збірник наукових праць Українського державного морського технічного університету. – 2001. – №1(373). – С. 130–137.

9. *Назарова НС, Козырев С.С.* Разработка адаптивного фильтра информационного сигнала системы управления электрогидроимпульсной установки // Збірник наукових праць НУК. – 2004. – №4(397). – С. 124–130.

УДК 681.236

Методы повышения энергоэффективности разрядноимпульсной технологии очистки отливок

Н.С.Назарова, канд.техн.наук, **В.В.Диордийчук**,
Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
пр. Жовтневый, 43-а, Николаев, 54018, Украина.

Разработана модель оценки энергоэффективности разрядноимпульсной технологии очистки отливок, которая позволяет математически строго вычислить математическое ожидание функции потерь при непрерывной работе установки. Рассчитано повышение энергоэффективности технологии при применении адаптивного управления режимом разряда с учетом удельного сопротивления воды в технологической емкости. Библ. 9, табл. 3, рис. 2.

Ключевые слова: разрядноимпульсные технологии, оптимальная система автоматического управления, адаптивная система.

The method of efficiency increasing for electro discharge casting cleaning technology

N.S.Nazarova, V.V.Diordiichuk

Institute of Pulse Technology and Processes National Academy of Science of Ukraine,
Zhovtnevyi pr., 43-a, Mykolaiv, 54018, Ukraine.

The model of an energy effect estimation in the pulse-discharge clearing of castings technology is designed. That allows mathematically strictly to compute expectation of a loss function at continuous operation of the installation. The increases of energy effect of the pulse-discharge technology at applying an adaptive control in view water resistivity in the technological tank is counted. References 9, tables 3, figures 2.

Keywords: pulse-discharge technology, optimal automatic control system, adaptive system.

1. Vovk I.T., Drumiretskii V.B., Krivitskii E.V., Ovchinnikova L.E. Control of electrohydropulse processes. – Kyiv: Naukova dumka, 1984. – 186 p. (Rus)
2. Gulyi G.A. Fundamentals of pulse-discharge technologies. – Kyiv: Naukova dumka, 1990. – 208 p. (Rus)
3. Deklaratsiyni patent na korysnu model 17153 Ukraina, MPK (2006) G 05 D 13/02. Avtomatic regulation method of EHS / S.S.Kozyrev; N.S.Nazarova; zaiavnyk i patentovlasnyk – IIPT NAN Ukrainy. – №u200602947. – Zaiavleno 20.03.2006. – Opubl. 15.09.2006. – Biul. № 9. – 4 p. (Ukr)
4. Diordiichuk V.V., Vinnychenko D.V., Boguslavskiy L.Z., Nazarova N.S. Specific resistance automatic measurement system for electro-discharge setups // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriia: "Elektrotehnika i energetyka". – 2008. – №8(140). – P. 61–68. (Ukr)
5. Kozyrev S.S. Adaptive control system with fuzzy regulator for electro-discharge installation // Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI». Tematicheskii vypusk «Tekhnika i elektrofizika vysokikh napriazhenii». – 2006. – №37. – P. 92–100. (Rus)
6. Krivitskii E.V., Shamko V.V. Electric discharge transients in liquid. – Kyiv: Naukova dumka, 1979. – 208 p. (Rus)
7. Nazarova N.S. Automatic regulation system for electrohydropulse installations with movable electrode / Avtoreferat dysertatsii na zdobuttia naukovogo stupenia kandydata tekhnichnykh nauk. – Kyiv: IED NAN Ukrainy, 2003. – 20 p. (Ukr)
8. Nazarova N.S. Statistical efficiency analysis of output vector coordinates for object control // Zbirnyk naukovykh prats Ukrainkogo derzhavnogo morskogo tekhnichnogo universytetu. – 2001. – №1(373). – P. 130–137. (Rus)
9. Nazarova N.S., Kozyrev S.S. Adaptive filter development for information signal of electrohydropulse installation control system // Zbirnyk naukovykh prats NUK. – 2004. – №4(397). – P. 124–130. (Rus)

Надійшла 05.05.2010
Received 05.05.2010